

# DEVELOPMENT OF PHASE PROBE FOR THE NIRS SMALL CYCLOTRONS HM-18

Satoru Hojo <sup>#,A)</sup>, Ken Katagiri <sup>A)</sup>, Akira Goto<sup>A)</sup>, Yuichi Takahashi<sup>B)</sup>, Toshihiro Honma<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> National Institute of Radiological Sciences  
4-9-1 Anagawa, Inage, Chiba, 263-8555

<sup>B)</sup> Accelerator Engineering Corporation  
3-8-5 Konakadai, Inage, Chiba, 263-0043

## Abstract

The small cyclotron HM-18 of the National Institute of Radiological Sciences (NIRS) has been operated for use in RI production since 1994. The HM-18 allows us to accelerate protons and deuterons at fixed energies of 18 and 9 MeV, respectively. It has four trim coils for generation of the isochronous fields. Until recently, currents of the four trim coils had been adjusted only by monitoring the output beam intensity. In order to exactly produce the isochronous fields, a new phase probe has been installed in the HM-18. The phase probe has a simple structure in which four copper electrode plates of 60 mm x70 mm in area are glued to a copper base plate with a polyimide insulator between them. The thicknesses of the copper plates and the polyimide are 0.1 mm. This structure has an advantage that it can be easily installed in the cyclotron; only one part of a pair of upper and lower electrodes, which is usually adopted, is simply attached on the surface of the (lower) sector pole. The development of the phase probe and some results of a preliminary beam test using it are reported.

## 放医研小型サイクロトロン (HM-18) 用位相プローブの開発

### 1. はじめに

放射線医学総合研究所 (NIRS) の小型サイクロトロン (HM-18) は、HIMAC (Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba)での治療のための PET 診断に用いる放射性薬剤の製造専用のサイクロトロンとして、1994 年に導入され稼働し続けている [1]。HM-18 は住友重機械工業株式会社製の負イオン加速の小型サイクロトロンである。機器の構成の概略図を図 1 に示す。取出し半径は 435mm で、これに対し、NIRS の HM-18 では半分程度の半径 150 mm の位置に中心部シャッターが備え付けられており、ビーム停止とビーム電流の検出が可能となっている。ビーム取出しのために 180 度の対角に 2 か所カーボンフォイルストリッパーが据え付けられて。Side1 は NIRS 特有でビーム輸送ラインへ接続されており、大型サイクロトロン (NIRS-930) の放射性薬剤製造用のビーム輸送ラインを一部共有できるようになっている。Side2 は 4 ポートのターゲットが直接接続されており、放射性薬剤の製造の照射が可能となっている。イオン源は内部イオン源としてコールドカソード PIG イオン源を用いており、イオン種は負水素イオンと負重水素イオンの生成が可能である。加速高周波の周波数は 45 MHz 固定で Dee 電極角度が 36 度となっており、ハーモニック 2 加速で 18 MeV 陽子、ハーモニック 4 加速で 9 MeV 重陽子と、加速可能なエネルギーも固定である。それぞれのビームにおける等時性磁場の調整のために 4 つのトリムコイルを備え付けている。

これまで、このトリムコイルの電流設定は中心部シャッターと荷電変換取出し後のビーム強度が増え

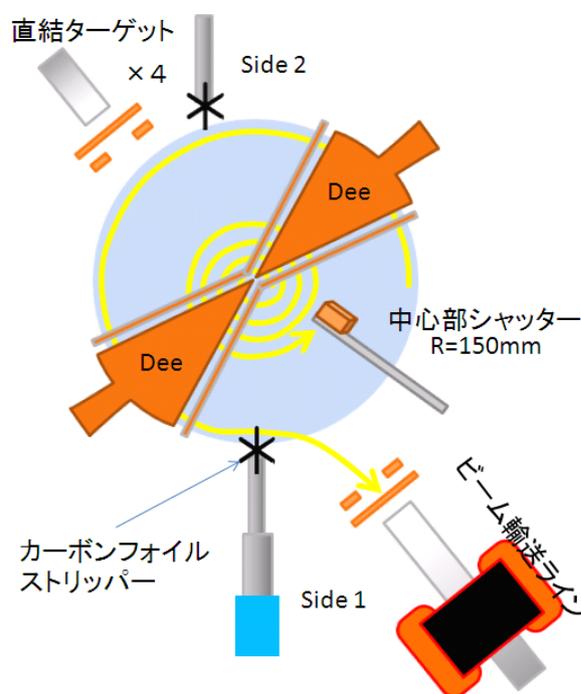


図 1 : HM-18 概略図

るようになっていたため、等時性磁場がどの程度正確に作られていたのかは不明であった。そこで今回、HM-18 に簡易的な構造の位相プローブを導入し、ビーム位相の測定を行った。

## 2. 位相プローブの構造

今回、製作された位相プローブの写真と断面構造図を図2に示す。位相プローブの構造は、大きく簡略化されている。ピックアップ電極とフレーム部は、厚さ0.1 mm銅板の電極4枚をポリイミドシートで絶縁し、ベースの銅板に張り合わせている。位相プローブとして通常採用される上下が対になった構造ではなく下側の電極のみとした。据付けにおいても、薄型のため、セクター磁極表面へ張り付けて設置した。設置したプローブとC1~C4の4つのトリムコイルの配置を図3に示す。半径150 mmの位置でトリムコイルC1の上にPP1プローブがあり、ビーム取出し半径425 mmがPP4の末端位置となっている。また、サイクロトロン内部の信号ラインには、外径1.2mmの銅管タイプの同軸線を用いており、その外導体は位相プローブの外側フレーム板とセクター磁極表面へ接地されている。

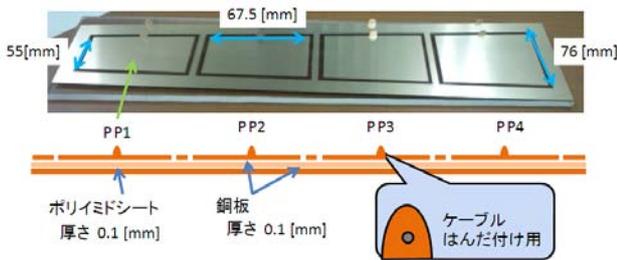


図2：位相プローブの構造図

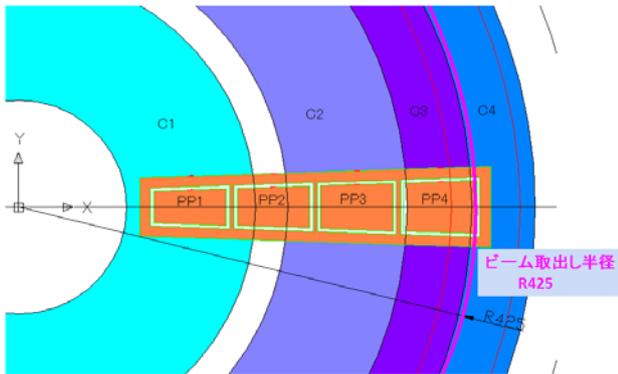


図3：位相プローブとトリムコイルの配置図

## 3. ビーム位相測定および調整

### 3.1 ビーム波形の観測

18 MeV 陽子について観測した。ビーム波形の観測は、加速高周波電圧をトリガーとして、オシロスコープで行った。PP1で得られた波形を図4に示す。Ch1(黄)がビーム波形で、Ch2(赤)は加速用高周波出力(45MHz)である。この時のビーム強度は、中心部シャッター(R=150 mm)で22  $\mu$ A、Side1 荷電変換取出し後で20  $\mu$ Aであった。ビームバンチの幅は4.45 nsecで、位相角度にすると72 degであった。

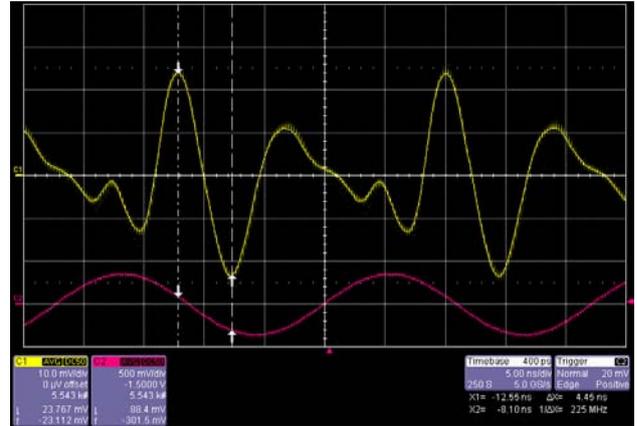


図4：PP1 プローブで観測された波形（18MeV 陽子、20 $\mu$ A）

### 3.2 ビーム位相の計測

加速用高周波出力を基準（トリガー）とし、各電極においてビーム波形を観測した。これにより、それぞれのビーム波形の時間差から位相の計測を行った。計測結果を図5に示す（青色四角）。ビーム位相の偏位はせいぜい最大17度に収まっており、わりと良好な等時性磁場が生成されていたことが分かった。

### 3.3 トリムコイルによる調整

ビーム位相の計測の結果、磁場分布にはとくに大きな問題がないことが分かったが、さらに位相偏位の大きさを小さくするためトリムコイル（主にC2）の調整を行った。調整後の位相差を図5に示す（赤色四角）。ビーム位相幅偏位を最大で9度に収めることができた。

次に、トリムコイルC1の変化によるビーム位相の変化を測定した。測定結果を図6に示す。上記調整後の値(+22 A)から上下8 A電流を変えることで、取出し付近の半径でそれぞれ40度程度の位相差が生じることが分かった。さらに、C1のそれぞれの電流値に対してメインコイルの電流を変化させたときの最外周でのビーム強度の変化を測定した。この結果を図7に示す。想定どおり、C1が30 Aと14 Aの場合に比較して22 Aでは、メインコイルの電流変化に対するビーム強度のピークの幅が広く、磁場変動のビーム強度への影響が小さいことが分かる。

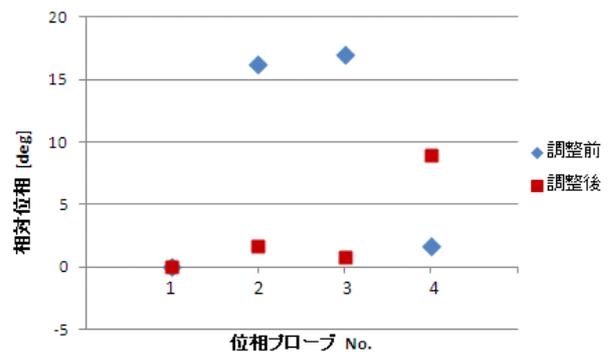


図 5 : ビーム位相の測定結果

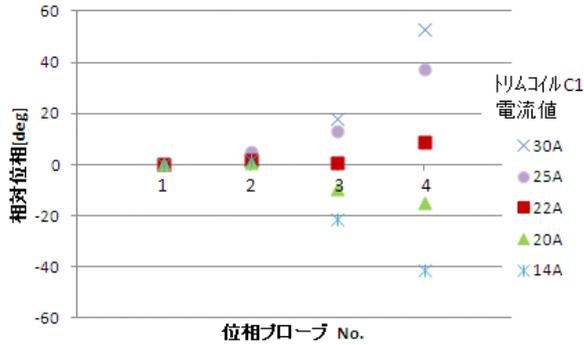


図 6 : トリムコイル C1 によるビーム位相の変化

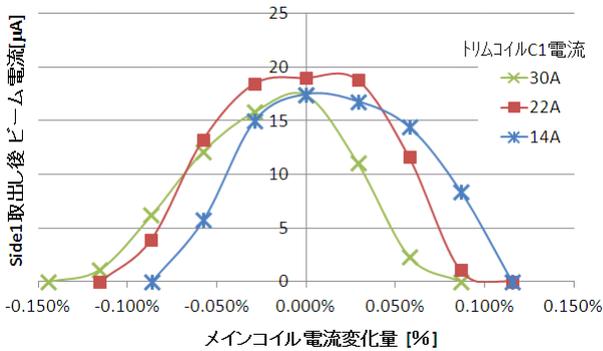


図 7 : メインコイル電流とビーム強度の関係

#### 4. まとめ

HM-18 に銅薄とポリイミド薄を用いた簡略化した構造の位相プローブを導入し、18 MeV 陽子ビームの位相測定を行った。

その結果、ビーム位相の偏位が ±10 度となっており良好な状態であることが分かったが、さらに調整を行い ±5 度以下にすることができた。

今後、9 MeV 重陽子に関する測定を行う予定である。さらに、この位相プローブを活用してビーム強度を増やすことを試みる予定である。

#### 参考文献

- [1] S.Hojo et al., "Present status of cyclotrons (NIRS-930, HM-18) at NIRS", Proceedings of the PASJ2012, WEPS008, (2012)